



ЗБОРНИК РАДОВА

65. годишња конференција за електронику, телекомуникације,
рачунарство, аутоматику и нуклеарну технику

ЕТРАН 2021

и

8. интернационална конференција за електротехнику,
електронику и рачунарство

ИцЕТРАН 2021

PROCEEDINGS

8th International Conference on Electrical, Electronic
and Computing Engineering

IcETRAN 2021

and

65th National Conference on Electronics, Telecommunication,
Computing, Automatic Control and Nuclear Engineering

ETRAN 2021

Етно село Станишићи, Република Српска, 8 - 10. септембра 2021. године
Ethno Village Stanišići, Republic of Srpska, 8 - 10, September, 2021

ISBN 978-86-7466-894-8



Издавачи

Друштво за ЕТРАН, Београд
Академска мисао, Београд

Published by

ETRAN Society, Belgrade,
Academic Mind, Belgrade

ЗБОРНИК РАДОВА

65. годишња конференција за електронику, телекомуникације,
рачунарство, аутоматику и нуклеарну технику

ЕТРАН 2021

и

8. интернационална конференција за електротехнику,
електронику и рачунарство

ИцЕТРАН 2021

PROCEEDINGS

8th International Conference on Electrical, Electronic
and Computing Engineering

IcETRAN 2021

and

65th National Conference on Electronics, Telecommunication,
Computing, Automatic Control and Nuclear Engineering

ETRAN 2021

Зборник радова - 65. Конференција за електронику, телекомуникације,
рачунарство, аутоматику и нуклеарну технику,
Етно село Станишићи, 08-10.09.2021. године

Proceedings of Papers – 8th International Conference on Electrical, Electronic
and Computing Engineering, IcETRAN 2021,
Ethno willage Stanišići, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

Главни уредник / Editor in Charge

Слободан Вукосавић / Slobodan Vukosavić

Издавачи / **Друштво за ЕТРАН, Београд и Академска мисао, Београд**
Published by / **ETRAN Society, Belgrade, Academic Mind, Belgrade**

Израда / Production

Академска мисао, Београд / Academic Mind, Belgrade

Место и година издања / Place and year of publication

Београд, 2021. / Belgrade, 2021.

Тираж / Circulation

200 примерака / 200 copies

ISBN 978-86-7466-894-8

**ЕТРАН - Друштво за електронику, телекомуникације,
рачунарство, аутоматику и нуклеарну технику**

**ETRAN – Society for electronics, telecommunication,
computing, automatics and nuclear engineering**

Кнеза Милоша 9/IV, 11000 Београд / Kneza Milosa 9/IV, 11000 Belgrade

Телефон / Phone: 011 3233 957

Е-пошта / E-mail: office@etran.rs

www.etran.rs

ОРГАНИЗАТОРИ - ORGANIZERS

Друштво за ЕТРАН, Београд / ETRAN Society, Belgrade

**Универзитет у Бањој Луци - Електротехнички факултет /
University of Banja Luka - Faculty of Electrical Engineering,
Banja Luka, Republic of Srpska**

**Универзитет у Београду - Електротехнички факултет /
University of Belgrade - School of Electrical Engineering**

ПОДРШКА / SUPPORTED BY

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA

Optimalna rezolucija stohastičkih embedid sistema

Dragan Pejić, Aleksandar Radonjić, Vladimir Vujičić

Sažetak-U radu se elaborira primena stohastičke digitalne merne metode (SDMM) u embedid sistemima. U literaturi je dokazano da je optimalna rezolucija SDMM trobitna i da je optimalni brojni sistem za primenu u obradi takođe trobitni. Ove činjenice su motivisale autore da analiziraju optimalne rezolucije stohastičke A/D konverzije, stohastičke obrade i stohastičke D/A konverzije.

Ključne reči-Stohastička merenja, embedid sistemi, analogno-digitalna konverzija, digitalno-analogna konverzija.

I. UVOD

U zadnjih nekoliko godina, u akademskim krugovima, ali i u industriji, veliku pažnju privlači koncept stohastičkog računanja (SR). Najsveobuhvatniji prikaz ove teme dat je u [1]. Autori tog rada su prikazali načine primene stohastičkog računanja (SR) u embedid sistemima, ali i na koji način se celobrojna aritmetika može kombinovati sa stohastičkom analogno-digitalnom (A/D) konverzijom [2]. Cilj ovog rada jeste da se pomenute teme prodube, odnosno da se da dodatni doprinos teoriji stohastičkih embedid sistema.

II. STOHAŠTIČKA ANALOGNO-DIGITALNA KONVERZIJA

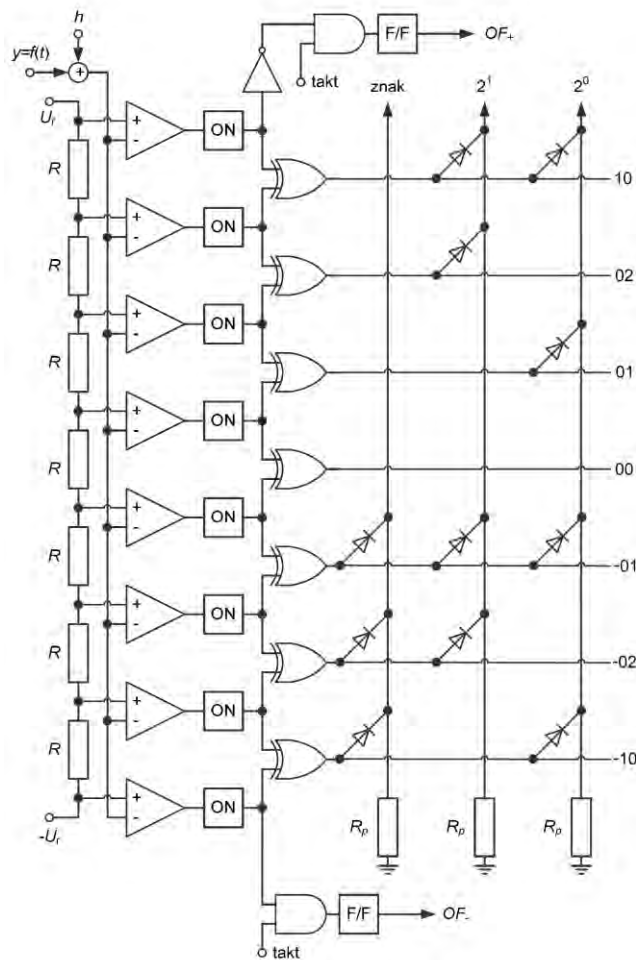
Kao što je već navedeno, u [1] je dat detaljan pregled SR metoda. Međutim, zbog svoje sveobuhvatnosti, pomenuti rad obuhvata teme koje se, u suštini, ne bave SR, već nekim drugim temama, kao što je stohastička A/D konverzija. Primer za to jeste i rad [2], gde se analogni uniformni diter dodaje ulaznom signalu pre njegove digitalizacije pomoću dvobitnog A/D konvertora (slika 1). Dakle, stohastika je prisutna na ulazu u sistem, dok su procesi obrade signala potpuno deterministički. Rezultat ovakvog pristupa jeste činjenica da ulazna veličina (signal) ima mali nivo slučajnosti, ali se zato meri sa velikom preciznošću i tačnošću.

Stohastička A/D konverzija je još uočljivija u [3]-[6], gde se koriste višebitni A/D konvertori. U svim slučajevima, blokovi za obradu signala su deterministički, iako bi se mogli realizovati i na stohastički način. Kada bi se tako nešto uradilo, pojednostavila bi se hardverska struktura uređaja, ali bi se značajno smanjila preciznost merenja zbog dužeg vremena računanja. S obzirom da se stohastika primenjuje na ulaznim podacima, korišćenje aritmetike sa pokretnim zarezom ne bi imalo smisla, jer se adekvatna preciznost rezultata može postići samo u dovoljno dugom vremenskom periodu. To se, inače, već postiže celobrojnomo aritmetikom, što su potvrdili rezultati simulacija [3]-[6].

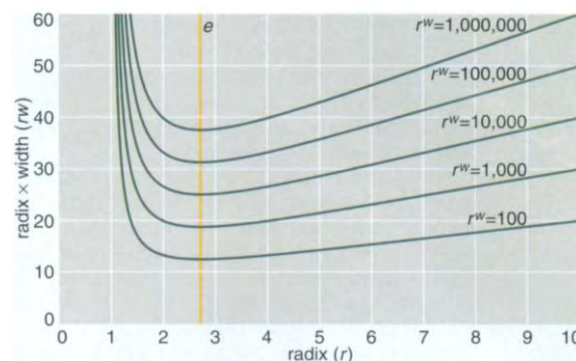
Dragan Pejić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Novi Sad, Srbija (i-mejl: pejićdra@uns.ac.rs)

Aleksandar Radonjić, Institut tehničkih nauka SANU, Beograd, Srbija (i-mejl: sasa_radonjic@yahoo.com)

Vladimir Vujičić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Novi Sad, Srbija (i-mejl: vujicicv@uns.ac.rs)

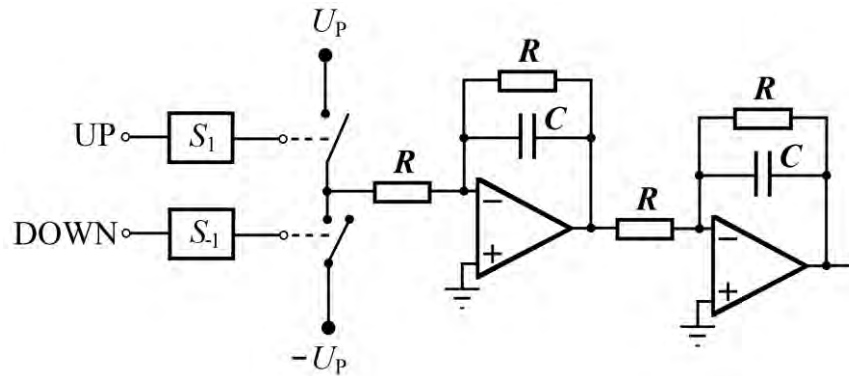


Sl.1. Šema trobitnog diterovanog A/D konvertora sa binarnim i ternarnim izlazom.



Sl. 2. Zavisnost cene primene od brojne osnove r i opsega računara r^w [8].

U [6] je pokazano kako kombinacija dvobitne stohastičke A/D konverzije i celobrojne aritmetike (visoke rezolucije) omogućava precizno merenje veoma važne vrednosti u električnoj mreži: osnovne frekvencije. Prednost pomenutog pristupa je uklanjanje celobrojnog množenja u FIR filtru. Ova činjenica nas navodi na zaključak da u embedid sistemima mogu postojati četiri načina digitalizacije i obrade signala: A/D konverzija i determinističko računanje (DR),

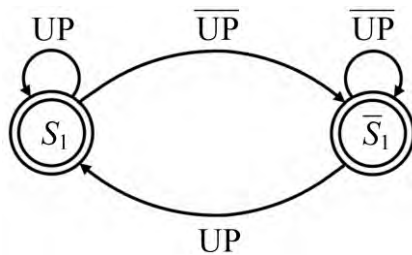
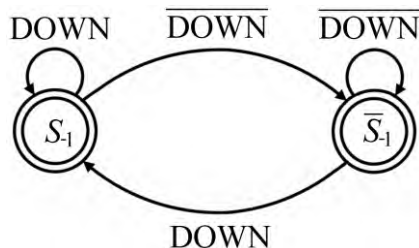
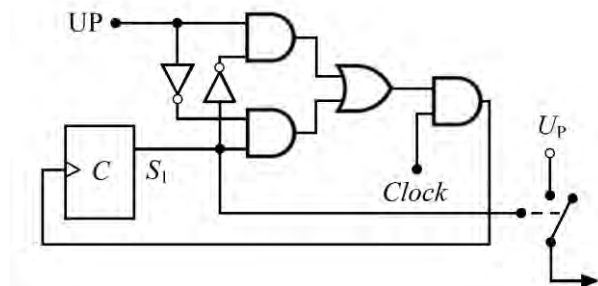
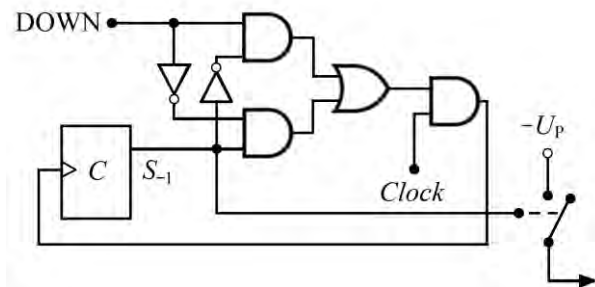
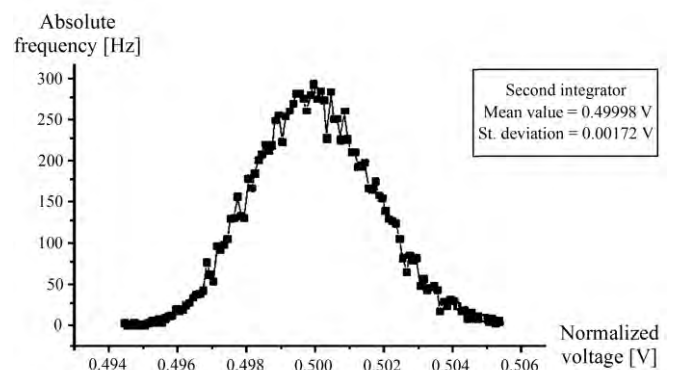


Sl. 3. Inherentno dvobitni stohastički analogni AC / DC transfer [7].

A/D konverzija i SR, stohastička A/D konverzija i DR, i stohastička A/D konverzija i SR. Poslednja kombinacija ima najjednostavniji hardver, i veoma je pogodna za primenu u embedid sistemima koji mere, nadgledaju ili regulišu spore procese (hemijski i biološki procesi) u poljoprivredi i zaštiti životne sredine. Jednostavan hardver znači i da minimalno korišćenje energije, što embedid sisteme, zasnovane na SR i stohastičkoj A/D konverziji čini pogodnim za realizaciju u formi autonomnog baterijskog napajanoj ASIC čipa.

III. OPTIMALNA STOHAŠTIČKA OBRADA

Još od rane faze razvoja računara povela sa diskusija o optimalnom brojnom sistemu koji bi se koristio u računarima. Rezime tih diskusija je dat u članku [8]. Eksplicitno je utvrđeno da je brojni sistem sa osnovom e ($e \approx 2,718$) najekonomičniji sa stanovišta zapisa u memoriji, pretraživanja i obrade. Kako brojna osnova mora biti ceo broj, najbliži ceo broj je 3, pa svi zaključci koji se odnose na brojnu osnovu e se ostvaruju usvajanjem brojne osnove (modula, radix-a) 3. To je prikazano na slici 2. Vrlo rano je razvijena i ternarna Bulova algebra, tako da, generalno, ternarni brojni sistem i ternarna obrada su najekonomičniji sa stanovišta obrade.

Sl. 4. Grafički prikaz mašine stanja S_1 [7].Sl. 5. Grafički prikaz mašine stanja S_{-1} [7].Sl. 6. Logički prikaz mašine stanja S_1 [7].Sl. 7. Logički prikaz mašine stanja S_{-1} [7].

Sl. 8. Izlaz drugog analognog integratora u slučaju sinusoidalnog ulaza u uređaj [7].

Da li je bolja stohastička obrada, u prvom redu računanje, binarna ili ternarna, je jednostavno utvrditi po analogiji sa njihovim determinističkim analogonima - bolja je ternarna.

Kako je stohastički embedid sistem vrlo složen tehnički entitet, koji se sastoji od tri podsistema: ulaza (A/D konverzija), bloka za obradu (realizacija algoritama i računanje) i izlaza (D/A konverzija), a na osnovu poznate Pontijaginove teoreme - optimum sistema se nikada ne

poklapa sa optimumom bilo kog njegovog podsistema - gotovo je neverovatan rezultat istraživanja [9] da je ternarni izlaz iz SAADK sa slike 1 takođe optimalan. Već na osnovu te činjenice vredi razmisliti i o ternarnom SAADK. U tom slučaju je kompletan stohastičke embedid sistem ternaran. To je nepobitna činjenica, a najnoviji razvoj FPGA tehnologije nudi velike mogućnosti njegove realizacije.

IV. STOCHASTIČKA DIGITALNO-ANALOGNA KONVERZIJA

Treća važna funkcija embedid sistema je digitalno-analogna (D/A) konverzija. U stohastičkim embedid sistemima ona se lako izvršava pomoću analognih filtera. To je sintetički prikazano na slici 3, dok su ostali detalji prikazani na slikama 4-8 u slučaju dvobitnog stohastičkog embedid sistema. U [7] je pokazano da je za postizanje jednostavnog, robusnog i preciznog AC/DC transfera dovoljno koristiti dvobitni stohastički A/D konvertor, dvobitni deterministički blok za obradu signala i jednostavan inherentno stohastički dvobitni D/A konvertor na ulazu u analogni filter drugog reda (redno vezana dva analogna integratora sa gubicima). Potpuno analogno se može uraditi ternarna stohastička DA konverzija trobitnim izlazima iz ternarnog bloka za obradu.

V. ZAKLJUČAK

U radu je pokazano da stohastička ternarna A/D konverzija znatno pojednostavljuje hardver embedid sistema. Istraživanje i analiza metoda, zasnovanih na ternarnoj stohastičkoj A/D konverziji, dovelo bi do dodatnog unapređenja embedid sistema. Prednosti bi bile slične onima kod ternarnog SR-a. Sinergijski efekat kombinovane primene ternarne SR i ternarne stohastičke A/D konverzije nudi velike mogućnosti za dodatno pojednostavljenje hardvera embedid sistema sa svim prednostima koje ova činjenica podrazumeva. Ternarna stohastička DA konverzija je potpuno ostvarljiva na analogan način binarnoj.

LITERATURA

- [1] A. Alaghi and J. P. Hayes, "Survey of Stochastic Computing," *ACM Trans. Embedded Comput. Syst.*, vol. 12, no. 2s, pp. 1-19, May 2013.
- [2] D. Pejic and V. Vujicic, "Accuracy Limit of High Precision Stochastic Watt-Hour Meter," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 49, no. 3, pp. 617-620, Jun. 2000.
- [3] V. Vujicic, "Generalized Low-Frequency Stochastic True RMS Instrument," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 50, no. 5, pp. 1089-1092, Oct. 2001.
- [4] V. Pjevalica and V. Vujicic, "Further Generalization of the Low-Frequency True-RMS instrument," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 59, no. 3, pp. 736-744, Mar. 2010.
- [5] P. Sovilj, S. Milovancev, and V. Vujicic, "Digital Stochastic Measurement of a Nonstationary Signal with an Example of EEG Signal Measurement," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 60, no. 9, pp. 3230-3232, Sep. 2010.
- [6] A. Radonjic, P. Sovilj, and V. Vujicic, "Stochastic Measurement of Power Grid Frequency Using a Two-Bit A/D Converter," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 63, no. 1, pp. 56-62, Jan. 2014.
- [7] V. Vujicic and D. Pejic, "Inherently Digital Stochastic Analog AC to DC Transfer," in: *Proc. IMTC 2001*, vol. 3, pp. 2070-2073, May 2001.
- [8] Brian Hayes, "Computing Science: Third Base," *American Scientist*, vol. 89, no. 6, pp. 490-494, Nov.-Dec. 2001.
- [9] M. Urekar, Contribution to the optimization of digital measurements performance (in Serbian), Ph.D. dissertation, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad.

ABSTRACT

The paper elaborates the application of stochastic digital measurement method (SDMM) in embedded systems. It has been proven in the literature that the optimal SDMM resolution is three-bit and that the optimal number system for application in signal processing is also three-bit. These facts motivated the authors to analyze the optimal resolutions of stochastic A/D conversion, stochastic processing, and stochastic D/A conversion.

Optimal resolution of stochastic embedid systems

Dragan Pejic, Aleksandar Radonjic and Vladimir Vujicic